Untersuchungen über die Oberflächenstromdichte an Hohlkathodenanordnungen

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung des Doktorgrades

genehmigt von der

Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin

von

HERBERT SCHOLZ
aus Berlin

Tag der mündlichen Prüfung: 13. März 1940
Tag der Promotion: 15. Juni 1940

N 12

Referenten: Professor Dr. A. Wehnelt
Professor Dr. E. Schumann

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Einleitung.

Wenn sich bei einer Glimmentladung zwei einander gegenüberstehende parallelgeschaltete Kathoden einander nähern, so tritt vorerst eine Spannungserniedrigung und damit zugleich eine Stromerhöhung auf.(1) Der Verstärkungsfaktor gegenüber einer gewöhnlichen Entladung kann bei dieser sogenannten Hohlkathodenwirkung beträchtliche Werte annehmen.(2) Das Einbringen einer Gegenelektrode erniedrigt die Brennspannung und erhöht den Strom um so mehr,je tiefer diese Elektrode im Glimmlicht steht.(3) Bei sehr geringen Abständen der Kathoden hingegen tritt eine staike Erhöhung des Potentials ein,und es setzen disruptive Entladungen ein.(4) Ähnliche Erscheinungen hat man auch bei der eigentlichen Hohlkathode,wo sich ebenfalls die gegenüberstehenden Wände beeinflussen.Diese Kathodenart hat in der Spektralfotografie Anwendung gefunden.(5)

Wegen der starken Behinderung und der erhöhten Diffusion bei solchen Hohlkathoden sind die einzelnen Teile- Mitte und Randpartien - der Elektroden in Bezug auf die Oberflächenstromdichten nicht mehr gleichwertig. In vorliegender Arbeit ist nun der Versuch unternommen worden,an einer Hohlkathodenanord-

(1) A.Güntherschulze. Zft.f.Phys.19(1923)S.313
A.Güntherschulze. Zft.f.Phys.23(1924)S.181
(2) A.Güntherschulze. Zft.f.tech.Phys.(1930)S.49
(3) W.Weizel-H.Fischer. Ann.d.Phys.Bd.24(1936)S.209
K.Geiger. Zft.f.Phys.106(1937)S.17
(4) A.Wehnelt. Ann.d.Phys.Bd.65(1898)S.511
(5) H.Schüler. Phys.Zft. 26(1925)S.483

nung die Stromverteilung in radialer Richtung beim Übergang von einer Entladung mit Scheibenelektrode in eine mit Hohlkathode zu messen.

Apparatur und Versuchsanordnung.

Für die ersten Versuche sind die Oberflächen der sich gegenüberstehenden Kathoden in drei flächengleiche Teile zerlegt worden. Wehnelt (1) hat mittels unterteilter Kathoden gezeigt, daß der Strom im wesentlichen nur durch die sichtbare Ansatzstelle fließt. Es wurde dort schon angedeutet, daß die Stromdichte in radialer Richtung allmählich auf Null abnimmt und der Dunkelraum sich an den Rändern verbreitert. Um daher im vorliegenden Fall eine möglichst gleichmässige Ausbreitung der Entladung über die Oberfläche zu erhalten, wurden die Elektroden mit Schutzringen versehen. Es zeigt Fig.1 Abb.Ia einen Schnitt durch die Kathode und Abb.Ib die Vorderansicht.

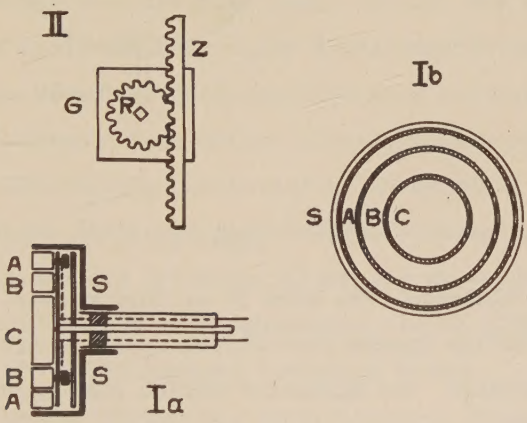
Die Kathoden bestanden aus einem Mittelteil C und zwei Ringen A,B von je 3,14 cm^2 Oberfläche. Sie waren auf einer Glimmerscheibe durch einen Luftzwischenraum(1/10 mm) vollkommen isoliert angebracht und mit getrennten Zuführungen versehen. Diese Zuführungen a, b, c führten innerhalb eines Glasrohrs W durch einen Hartgummipfropfen zu den Teilen A, B,C, an denen sie mit kleinen Schrauben, die gleichzeitig zum Halten der Kathodenteile auf der Glimmerplatte dienen, befestigt waren. Zwischen den Schrauben und dem Schutzring S war noch eine zweite Glimmerscheibe ange-

(1) A.Wehnelt. Ann.d.Phys. Bd.7(1902)S.237

bracht,die zur Isolation der Zuführungen vom Schutzring bestimmt war. In der Abb.Ib,Figur 1,die nicht maßstäblich ist,bedeuten die schraffiert gezeichneten Teile die Isolationsluftspalte. Da die Isolation der einzelnen Teile von größter Bedeutung war,wurde sie mit möglichster Sorgfalt durchgeführt.

Beide Kathoden waren aus Eisen und mit einem isolierten Schutzring aus Messing umgeben,der dafür sorgen sollte,daß die Entladung nur an den Stirnflächen ansetzte. Die beiden Kathodenflächen standen sich zentrisch gegenüber,die eine Kathode konnte unter Vakuum gegen die andere bewegt werden. Zu diesem Zweck war in dem innersten Elektrodenteilstück eine Zahnstange eingeschraubt. Eine schematische Zeichnung zeigt Fig. 1,Abb. II.

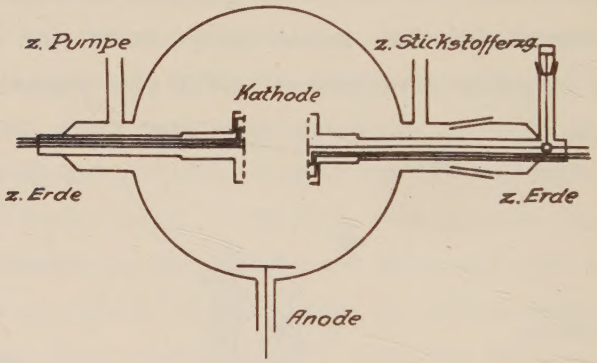
Figur 1.



Die Zahnstange Z trug ein kleines an ihr verschiebbares Gehäuse G ,in dessen Innern ein drehbares Zahnrad R mit der Zahnstange Z in Eingriff stand. Die durch das Gehäuse hindurchragende Achse des Zahnrades war mit einer vierkantigen Öffnung versehen, in die ein fest mit einem Glasschliff verbundener kleiner Keil

geschoben werden konnte. Durch Drehen des feststehenden Schliffs erfolgte eine Drehung des Zahnrads, wodurch die Zahnstange mit der durch ein Glasrohr gleitenden Kathode vor- und zurückbewegt werden konnte.

Das in Fig. 2 schematisch dargestellte Entladungsgefäß



Figur 2.

war eine Glaskugel von etwa 30 cm Durchmesser. Als Pumpe wurde eine zweistufige Quecksilber-Diffusionspumpe mit rotierender Ölvorpumpe verwandt. Das Manometer befand sich an der Pumpleitung. Dicht am Entladungsrohr war eine Kühlfalle zum Ausfrieren des Quecksilbers angebracht. Das Entladungsgefäß selbst konnte für die eigentlichen Messungen und Versuche durch Hähne von allen anderen Teilen der Apparatur abgetrennt werden. Die Schliffe und Hähne waren mit Apiezonfett gefettet. Als Lufteinlaß wurde ein kleiner Hahn in der Pumpleitung verwandt. Der Stickstoff wurde unter Vakuum durch elektrische Erhitzung von Natriumazid erzeugt

Die Trocknung des Stickstoffs erfolgte durch Phosphorpentoxyd. Das zu den Messungen benötigte Gas wurde aus einem zwischen Erzeugungsgefäß und Entladungsrohr eingebauten Vorratsgefäß entnommen.

Die Zuführungsdrähte zu den Kathodenteilen wurden durch einen Hartgummistopfen, der mit entsprechenden feinen Bohrungen versehen war, durchgezogen und an den Enden des Entladungsrohrs mit Picein eingekittet, da sich die Kathoden so am besten auswechseln liessen. Im Entladungsrohr wurden die Drähte durch engaufgezogene Glasperlen voneinander isoliert.

An Lichterscheinungen sah man nur die kathodische Glimmhaut, den Dunkelraum und das Glimmlicht, mitunter noch das anodische Glimmlicht, solange die Entladung nicht zu stark behindert war. Die parallelgeschalteten Kathoden lagen während der gesamten Versuche an Erde, die Anode war über einen Flüssigkeitswiderstand (Jod-Cadmium in Amylalkohol mit Cadmiumelektroden) mit der positiven Klemme eines Hochspannungs-Gleichrichteraggregats verbund In einem in den Entladungskreis geschalteten Lautsprecher machten sich erst bei sehr engen Abständen der Elektroden Geräusche bemerkbar, die anzeigten, daß die Entladung disruptiv zu werden begann. Aus dem Gleichrichter konnten Spannungen bis zu 3000 Volt und Ströme bis etwa 150 Milli-Ampères entnommen werden.

Bei den Versuchen wurden die entsprechenden Teile der Kathoden, also die beiden äußersten Ringe, die beiden mittleren Ringe und die beiden inneren Teile zusammengeschaltet und für sich gemessen, da durch die Symmetrie der Kathodenanordnung diese Teile gleichwertig waren. Aus den Einzelströmen ergab sich dann die Gesamtstromdichte, denn von den Verlusten, die dadurch entstehen, daß Ionen in die Isolationszwischenräume gelangen und nicht

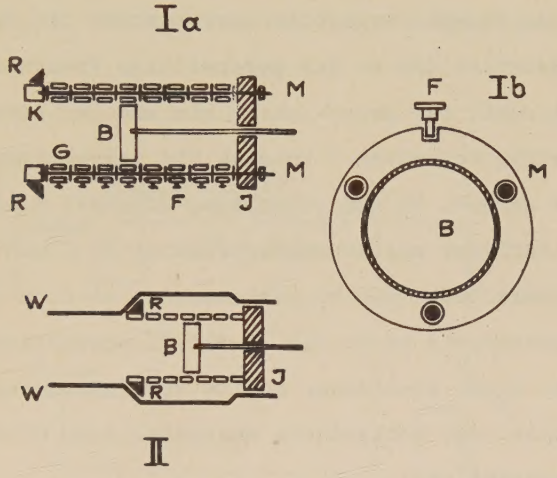
zur Strombildung beitragen,kann abgesehen werden,da der Abstand der Ringe nur 1/10 mm betrug und dieser gegen die Dicke des dunklen Kathodenraumes verschwindend klein ist.

Die Messungen wurden in Luft und in Stickstoff ausgeführt. Der Druck wurde mit einem McLeod-Manometer gemessen,das bis zu 20 mm Druck abzulesen gestattete.

Die Kathodenoberflächen wurden zuerst blankgeschmirgelt und dann längere Zeit in strömendem Stickstoff mit größeren Stromdichten belastet,damit die Oberflächen vollkommen sauber und gleichmäßig wurden. Zwischen die Isolationsspalte geklemmte dünne Glimmerstreifen hatten anfangs keinen Einfluß auf die Entladungserscheinungen. Nach längerer Versuchsdauer jedoch wurde die Isolation der nebeneinanderliegenden Ringe schlechter. Dies konnte durch Schalter,die in den einzelnen Kathodenleitungen lagen,geprüft werden. Bei ausreichender Isolation mußte die Entladung an dem betreffenden Teilstück verschwinden,während sich die Gesamtstromstärke änderte,da die Kathodenoberfläche verkleinert wurde. Bei ungenügender Isolation konnten die einzelnen Zweige nicht mehr getrennt werden. Die Gesamtstromstärke veränderte sich dann bei Betätigung eines Schalters nicht. Es bildeten sich wahrscheinlich infolge der allmählich einsetzenden Kathodenzerstäubung leitende Brücken,die einen metallischen Übergang schufen und so die Messungen verfälschen konnten. Daher hatte es sich als zweckmäßig erwiesen,nur die Luftspalte ohne dazwischen geklemmte Glimmerscheiben als Isolation zu verwenden. Es traten dann auch bei längerer Versuchsdauer keine Störungen auf.

Um den Übergang einer Entladung mit einer Scheibenkathode in eine mit Hohlkathode näher zu untersuchen,wurde noch eine zweite Elektrode konstruiert. Sie bestand aus neun gleichgroßen

Eisenringen, die mit ihren Öffnungen so nebeneinander standen, daß sie einen Hohlzylinder bildeten, der als Schnitt und als Vorderansicht in Fig. 3, Abb. Ia und Ib abgebildet ist.



Figur 3

Zwischen den einzelnen Eisenringen K befand sich ein dünner Glimmerring G, der zur Isolation diente. Die innere Mantelfläche des so gebildeten Hohlzylinders bestand aus Teilen gleicher Flächengröße. Jeder innere Ringteil hatte 5,64 cm^2 wirksame Oberfläche. Der Boden B des Hohlzylinders besaß ebenfalls die gleiche Oberfläche wie das innere Mantelstück eines Eisenringes und wie die Stirnfläche des ersten Ringes. das Bodenstück war wie schon beschrieben mittels Zahnstange und Trieb, der durch einen Glasschliff von außen gedreht werden konnte, innerhalb des Hohlzylinders verschiebbar angeordnet. Ein ganz dünner Hartgummiring um den Boden diente zur Isolation gegen die Wandung. Zum Zwecke der Halterung waren die Ringe K mit 3 Durchbohrungen versehen. durch die 3 Messingstangen M, die in den vordersten Ring eingeschraubt waren, geführt wurden. Diese Stangen M waren von kleinerem Durch-

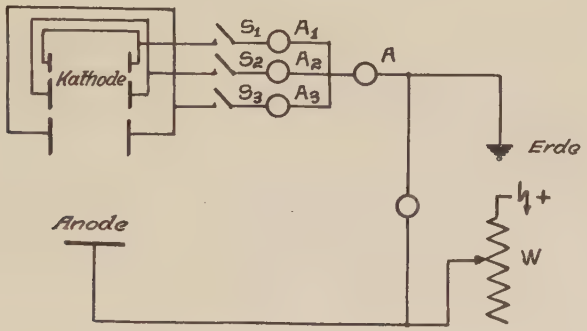
messer als die Bohrungen und daher durch Luftspalte von den einzelnen Ringen isoliert,so daß auch hier wieder jeder Ring für sich gemessen werden konnte. Am Ende war eine Platte J aus Isoliermaterial aufgesetzt. Mit Schraubenmuttern,die an den etwas herausstehenden Stangen angesetzt wurden,wurde die Platte gegen die Ringe gedrückt und so das gegenseitige Verscheiben der Ringe verhindert,damit der Boden leicht hin und her bewegt werden konnte. Mit kleinen Schrauben F konnten die Zuleitungen an den Ringen befestigt werden. Um den vordersten Ring der Hohlkathode lag ein zur Stirnfläche abgeschrägter Schutzring R aus Messing. Das Entladungsrohr W war nun so geblasen,daß es sich diesem Schutzring R gut anpasste,wie es in Fig. 3 Abb.II schematisch angedeutet worden ist. Diese Annordnung sollte verhindern,daß die Entladung am Außenmantel der Hohlkathode ansetzte. Auch hier sind die Figuren nicht maßstäblich.

Wurde der Boden soweit vorgeschoben,daß er mit der Stirnfläche abschnitt,hatte man die gewöhnliche Scheibenelektrode,und durch Hereindrehen des Bodens konnte der Übergang in die Hohlkathode untersucht werden. Die Isolation zwischen den einzelnen Teilen wurde wieder wie schon beschrieben geprüft. Wegen der metallischen Bestäubung mußten die verschiedenen Glimmerringe mehrmals ausgewchselt werden.

Der Strom durch die Ringe und den Boden,die immer an Erde lagen,wurde getrennt gemessen. Aus der Summe der Einzelströme ergab sich der Gesamtstrom. Zur Messung der einzelnen Stromdichten wurden Mavometer verwandt,die geprüft und geeicht waren,um möglichst gleiche Bedingungen für alle Teile zu erhalten. Es kam im vorliegenden Fall auch nicht unbedingt auf absolute Werte an, sondern mehr auf relative Verhältnisse von Stromdichten der ver-

schiedenen Teile untereinander. Die Spannung wurde mit einem geeichten Braunschen Elektrometer gemessen. Für geringere Spannungen wurde ein Gleichstromvoltmeter benutzt.

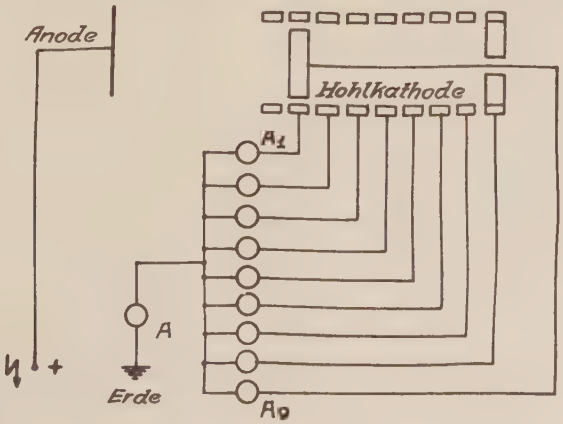
Die Schaltung für das Entladungsrohr nach Fig.2 zeigt Fig. 4,in der A_1, A_2, A_3 die Ampèremeter für die einzelnen Katho-



Figur 4

denteile,A das Gesamtstrominstrument,V das Voltmeter,S_1, S_2, S_3 die Schalter und W den Flüssigkeitswiderstand bezeichnen.

Die Schaltung für die Hohlkathode zeigt Fig. 5,bei der A das Gesamtstrominstrument,A_1-A_9 die Teilstrominstrumente angibt.

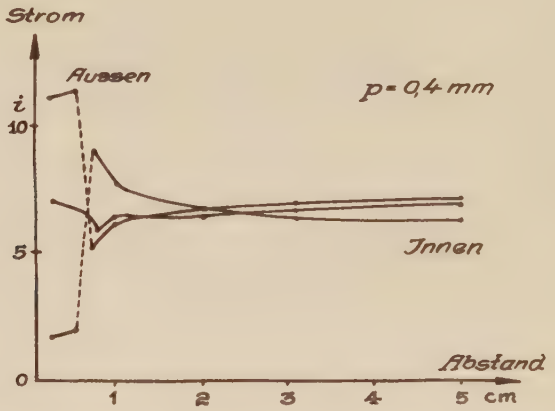


Figur 5

Messungen an den gegeneinander beweglichen Kathoden.

Es wurde zuerst die Stromverteilung bei konstantem Druck in Luft und veränderlichem Abstand der Kathoden untersucht. Aus dem Kurvenbild nach Fig. 6 ergibt sich bei konstanter Stromstärke

Figur 6



von 20,0 milli-Amp. und einem Druck von 0,4 mm, daß für einen Abstand von 5 cm die drei Teile der Elektroden annähernd gleiche Stromdichte haben. Die Ordinate bezeichnet die Stromstärke in Milli-Amp. oder da alle Teile gleiche Oberfläche haben, ist sie auch der Stromdichte proportional. Die Abszisse zeigt den Abstand der Kathoden. Beim Verkleinern des Abstandes beobachtete man ein Ansteigen des durch den inneren Teil abfließenden Stromes und ein Sinken des äußeren Anteils, während der mittlere verhältnismäßig konstant blieb. Es lagen bis zum gestrichelten Stück der Kurve zwei getrennte Lichterscheinungen vor.

Bei noch größerer Annäherung vereinigten sich die Dunkelräume plötzlich. Der ganze Raum zwischen den Kathoden war von einem gleichmäßigen Leuchten erfüllt, aus dessen Mitte senkrecht

zur Achse und parallel zu den Kathodenoberflächen ein kathodenstrahlartiges Licht austrat. Diese Erscheinung konnte als wesentliches Kriterium dafür angesehen werden, daß sich die Kathoden genau parallel und zentrisch gegenüber standen, da sich sonst wegen der Unsymmetrie des zwischen den Kathoden liegenden Raumes nur einzelne Strahlenbündel ausgebildet hätten. Die Stromverteilung änderte sich bei der Vereinigung ganz charakteristisch, da nun der äußerste Ring den größten Teil des Stromes aufnahm, während der innerste Ring nur eine geringe Stromdichte aufwies. Diese sprunghafte Änderung der Stromverteilung war gleichzeitig mit einer Spannungserhöhung verbunden. Bei noch kleinerem Abstandwurde die Entladung disruptiv und erlosch. (1). Diese Erscheinung des Umspringens der Entladungsformen war sehr vom Druck und von der Gesamtstromdichte abhängig (2). Bei größeren Drucken und höheren Stromdichten trat das Umspringen nicht auf. Die Glimmlichter wurden bei sehr starker Annäherung der beiden Kathoden nach außen gedrückt, die Spannung stieg nur etwas an,auch war der Abstand der eigentlichen Beeinflussung beider Teile dann geringer. Eine Meßreihe für 1,6 mm Druck zeigt Tabelle 1.

Tabelle 1.

Spg.	Abst.	Ges-Str.	Aussen	Mitte	Innen	
360	3,0 cm	16,0 m-A	5,2	5,2	5,5	m-A
360	2,0	16,0	5,2	5,2	5,5	
360	1,5	16,0	5,2	5,2	5,5	
360	0,9	15,9	5,1	5,2	5,6	
360	0,8	15,9	4,9	5,2	5,8	Druck
355	0,7	16,3	4,7	5,4	6,0	1,6 mm
340	0,6	16,2	4,1	5,2	6,8	Luft
340	0,5	16,0	5,1	4,8	6,0	
340	0,4	16,1	5,6	4,7	5,7	
340	0,3	16,0	5,0	6,4	4,5	
355	0,2	16,1	7,1	8,2	0,8	

(1) A. Wehnelt a.a.O.

(2) A. Güntherschulze a.a.O.

Bei verhältnismäßig großem gegenseitigen Abstand der Kathoden zündete mitunter nur eine Kathode, da der Abstand zwischen der Anode und der einen Kathode dann etwas verschieden war von dem der anderen. Wenn also nur eine Kathode mit gerade noch normaler Stromdichte die Lichterscheinung zeigte und dann der anderen genähert wurde, sprang die Entladung bei einem bestimmten Abstand, der durch den jeweiligen Druck bedingt war, auf die lichtlose Elektrode um, wobei sich beide Flächen zur Hälfte bedeckten, so daß die Stromdichte denselben Wert behielt. War der Druck größer als 6 mm, wanderte ein Lichtfleck auf der Kathodenoberfläche hin und her. Die einzelnen Teile zeigten immer dann Strom an, wenn sie von dem umherlaufenden Glimmlicht berührt wurden. Spannung und Gesamtstrom änderten sich dabei nicht. für sehr niedrige Druckbereiche (0,06 mm) ist der Stromverlauf in Tabelle 2 dargestellt.

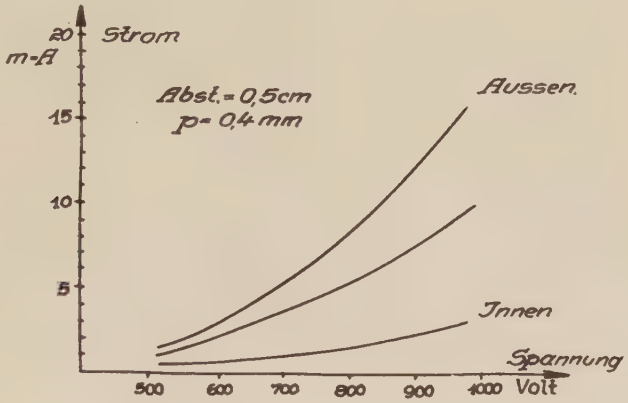
Tabelle 2

Spg.	Abst.	Ges-Strom.	Aussen	Mitte	Innen	
575	3,0 cm	2,9 m-A	0,4	1,5	0,9	m-A
520	2,5	3,9	0,9	1,8	1,2	
480	2,0	5,4	1,4	2,1	1,9	
450	1,5	7,7	1,8	2,3	2,5	Druck
600	1,0	2,2	0,2	1,0	0,9	0,06 m
610	0,9	1,8	0,1	0,9	0,7	
620	0,8	1,4	0,1	0,6	0,6	Luft
650	0,5	0,4	0,05	0,2	0,1	

Die gegenseitige Beeinflussung setzte hier entsprechend der Länge der Dunkelräume schon viel eher ein. Ebenso ist zu berücksichtigen, daß das Glimmlicht bei niedrigen Drucken anfängt, sich auf die Mitte der Kathoden zurückzuziehen. Daher war der äußerste Teil der Entladungsbahn nicht mehr voll beteiligt, so daß der Stromanstieg bei Annäherung sich hauptsächlich im mittleren Ring auswirkte. Der Spannungsverlauf war für mittlere und niedrige Drucke derselbe, zuerst ein Fallen und dann eine plötzliche

Steigerung,bis bei sehr geringen Abständen die Entladung disruptiv wurde und erlosch. Nur bei höheren Drucken war diese Erscheinung nicht so ausgeprägt,sondern es fand nur eine starke Verschiebung der Glimmlichter auf den Kathoden statt.

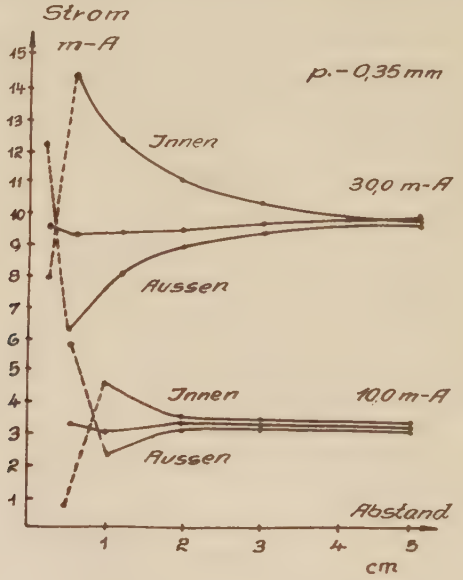
Um zu untersuchen,wie sich die einzelnen Teilströme bei Spannungserhöhung verhielten,wurden Charakteristiken mit verschiedenen Abständen aufgenommen.



Figur 7

Fig. 7 zeigt den Strom oder die Stromdichte,da alle Teile gleiche Oberfläche haben,als Funktion der Spannung,aufgenommen in Luft mit dem gegenseitigen Kathodenabstand 0,5 cm. Der Entladungsraum zwischen den Kathoden war von einem bläulichen,kathodenstrahlähnlichen Leuchten umgeben. Man sieht,daß der äußerste Ring den größten Anteil des Entladungsstroms trug und einen bedeutend steileren Anstieg als der innerste Teil hatte. Steigerte man den Gesamtstrom noch weiter,so riss die Entladung auseinander. Es entstanden dann wieder zwei getrennte Glimmlichter,wobei durch den innersten Ring der größte Stromanteil floss. Es war eine ähnliche Erscheinung wie beim Vergrößern des Elektrodenabstandes nach Vereinigung der Dunkelräume. Wesentlich für den Umschlag der Entladung war die gegenseitige Durchdringung der Dunkelräume,die sowohl

durch Nähern der Kathoden bei gegebener Stromstärke als auch durch Verkleinern der Stromdichte bei gegebenem Abstand zustande kommen kann. Das Zusammenwirken beider Voraussetzungen sei an Fig. 8 veranschaulicht.



Figur 8.

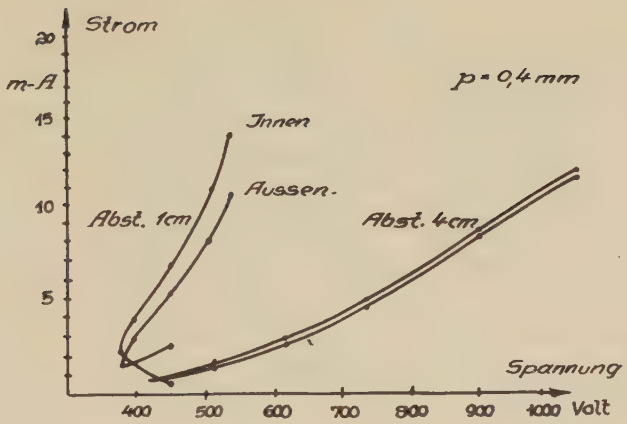
Die obere Kurve wurde aufgenommen mit 30,0 Milliampères Gesamtstromstärke, die untere mit 10,0 Milliampères in 0,35 mm Luft. Der kritische Abstand wurde bei höherer Gesamtstromdichte immer geringer, entsprechend der Verminderung der Dunkelraumdicke, die Beeinflussung an sich setzte aber schon früher ein.

In Fig. 9 wurden Strom-Spannungs-Charakteristiken mit 1,0 cm und 4,0 cm Kathodenabstand aufgenommen. Hieraus ist zu entnehmen, daß erst bei geringeren Abständen die eigentliche Hohlkathodenwirkung eintrat, die eine ziemlich steile Charakteristik hat(1).

Der innere Anteil war bei der Kurve von 1 cm Abstand für höhere Stromdichten und Spannungen größer als der äußere, erst bei

(1) K. Geiger. a. a. O.

Figur 9.



kleineren Stromstärken glichen sie sich etwas an. Auffallend ist der unterste Teil der Kurve. Bei Verringerung des Gesamtstroms fand man vorerst eine ziemlich starke Abnahme in allen Teilen verbunden mit einer Potentialverkleinerung, bis zu dem Punkt,wo die Dunkelräume so groß geworden sind,daß sie sich beinah berührten. Bei noch weiterer Gesamtstromerniedrigung erhielt man eine Vereinigung der Dunkelräume,bei der aber jetzt der äußerste Stromanteil wieder etwas anstieg. Gleichzeitig nahm die Brennspannung sprunghaft zu,bis die Entladung unterhalb der Minimumspannung, die zur Aufrechterhaltung erforderlich ist,abriß und erlosch. Der sprunghafte Wechsel des Potentials war also immer mit einer Verschiebung der Oberflächenstromdichte der einzelnen Teile verbunden. Die 4-cm-Kurve zeigt ein vollkommen regelmäßiges Verhalten, wo alle 3 Teile innerhalb der Fehlergrenzen gleiche Stromdichten hatten. Der mittelste Ring ist im Diagramm wegen besserer Übersichtlichkeit nicht aufgetragen worden und aus der folgenden Tabelle 3 zu entnehmen, da er in seinem Verhalten nicht sehr vom innersten Teil abwich.

Tabelle 3

Spg.	Ges.-Str.	Außen	Mitte	Innen	Abst.
540	40,0 m-A	11,6	12,4	15,3	1,0 cm
510	30,0	8,8	9,3	11,4	
455	20,0	6,1	6,3	7,5	
425	15,0	4,5	4,8	5,5	
390	10,0	3,0	3,1	3,7	0,4 mm
380	6,0	1,7	1,9	2,3	Luft
445	5,0	2,5	1,6	0,7	

Da das Verkleinern des Abstandes der Elektroden eine wesentliche Verlagerung der Stromdichte bedingte,wurden außerdem noch Versuche angestellt,um den Einfluß des Näherns einer isolierten Scheibe auf die Verteilung festzustellen. Als isolierte Scheibe wurde in diesem Falle die vollkommen abgeschaltete Gegenkathode benutzt. Die Messungen für verschiedene Drucke sind in Tabelle 4 zusammengestellt. Auch hier haben wir bei starker Behinderung eine Zunahme der Stromdichte in der Randpartie und eine Abnahme in den Innenteilen unter gleichzeitiger Spannungserhöhung. Die Verschiebung der Stromdichten erfolgte aber im Gegensatz zur Hohlkathode vollkommen stetig. Die Erscheinungen sind der eigentlichen Hohlkathodenanordnung ziemlich ähnlich,wenn auch nicht so ausgeprägt.

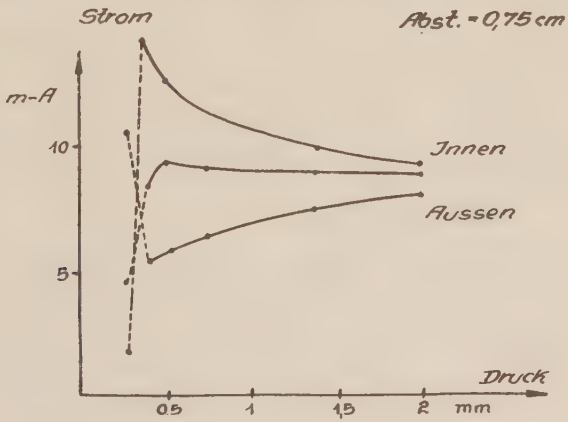
Tabelle 4

Spg.	Ges-Str.	Aussen	Mitte	Innen	Abstd.	Druck
510 V	20,0 m-A	6,6	6,5	6,6 m-A	1,0 cm	1,5 mm
500	20,1	6,7	6,6	6,6	0,5	-
600	19,1	8,0	6,5	4,4	0,4	-
750	17,0	8,1	5,9	3,0	0,2	-
810 V	15,5 m-A	5,1	5,2	5,1 m-A	4,0 cm	1,o mm
810	15,5	5,1	5,2	5,1	2,0	-
780	16,1	5,1	5,4	5,4	1,0	-
765	16,1	5,1	5,4	5,5	0,9	-
755	16,3	5,2	5,4	5,5	0,7	-
780	16,0	5,1	5,4	5,4	0,5	-
1020	12,0	5,4	4,1	2,4	0,3	-

Tabelle 4 (Fortsetzung)

Spg.	Ges-Str.	Aussen	Mitte	Innen	Abstd.	Druck
1080 V	5,5 m-A	1,2	1,8	2,5 m-A	5,0 cm	0,5 mm
1065	5,7	1,2	2,0	2,5	3,0	-
1050	6,1	1,3	2,4	2,4	2,0	-
1020	6,8	1,6	2,5	2,5	1,0	-
1065	6,2	1,8	2,6	1,8	0,9	-
1070	5,5	2,2	2,7	1,0	0,7	-
1080	5,2	1,8	2,5	0,9	0,5	-
1250	2,0	1,0	0,7	0,2	0,3	-

Im folgenden wurde der Abstand konstant gehalten und der Druck variiert. Eine Aufnahme solcher Messungen für einen Abstand von 0,75 cm zeigt Fig. 10. Bei diesem geringen Abstand setzte der gegenseitige Einfluß schon mit unvollständiger Bedeckung im normalen Fall ein. Das Kurvenbild gleicht Fig. 6, wo der Abstand verändert wurde. Wurde der Druck noch geringer, zog sich die Entladung nur einen schmalen Lichtfaden bildend auf den innersten der Kathodenteile zusammen. Die Gesamtstromstärke blieb hier über verhältnismäßig lange Druckbereiche konstant (1). Die verschiedenen Teile zeigten aber ein ganz unterschiedliches Verhalten. Erst nach der sprunghaften Vereinigung der Dunkelräume, die auch



Figur 10.

(1) A. Güntherschulze. a.a.O.

hier wieder auftrat,fiel der Gesamtstrom schnell ab, zuerst im äußersten Teil,der den größten Anteil hatte. Zum Unterschied,dargestellt in Tabelle 5,ist eine Messung mit 6 cm Abstand ausgeführt worden,wo der gegenseitige Einfluß der Kathoden stark vermindert war. Der Verlauf war der wie bei einer gewöhnlichen Entladung,gleichmäßige Abnahme der Stromanteile von außen nach innen bei Verminderung des Druckes (1).

Tabelle 5

E	Ges.-Str.	Außen	Mitte	Innen	Druck teilw.
420	16,5 m-A	6,3	5,3	4,6 m-A	4,0 mm
420	16,3	5,9	5,2	4,95	3,8
417	16,3	5,65	5,40	5,10	2,5 beidsg.
390	17,0	5,6	5,5	5,6	1,75 Bedeckg.
480	15,5	5,2	5,0	5,1	0,95
655	12,9	4,2	4,2	4,35	0,45
860	9,1	2,0	3,0	4,0	0,20
975	7,2	1,1	2,5	3,5	0,15
1045	6,2	0,4	2,5	3,3	0,05
1165	4,8	0,2	2,1	2,4	0,006
1265	3,2	0,1	1,3	2,1	0,0005

Für den gleichen Abstand,aber verschiedene Gesamtstromdichte fand der Umschlag für kleinere Stromstärken bei höherem Druck statt als für größere Stromstärken. Die einzelnen Elektrodenteile zeigten kein unterschiedliches Verhalten gegenüber der o,75 cm-Kurve bei größeren. Mit größerem Abstand wurde der Umschlag immer weniger augenfällig und meßbar.

Für sehr enge Kathodenabstände von ungefähr o,2 cm bildeten sich innerhalb eines gewissen Druckbereiches von o,6 bis o,8 mm Luft "Kathodenstrahlen" aus, obgleich die Spannung nur ungefähr 2 5oo Volt betrug. Diese Strahlen erhitzten das Entladungsgefäß stark und konnten magnetisch abgelenkt werden. Unterhalb von o,6 mm Druck neigte die Entaldung zu diskonstinuierlichen Schwingungen,bis sie schließlich bei sehr kleinen Drucken

---

(1) A. Wehnelt. Ann. d. Phys. Bd.7 (19o2) S. 237

erlosch.

Die Messungen wurden anfangs in Luft gemacht und später in Stickstoff,der jedoch keinen großen Unterschied gegenüber Luft auf die Stromverteilung aufwies. Die Vereinigung der Glimmlichter erfolgte bei geringeren Abständen,da die Dunkelräume entsprechend kleiner sind,sonst waren alle Effekte mit gleicher Schärfe vorhanden. Einige Beispiele zeigt nachstehende Zusammenstellung.

Messungen an der Hohlkathode.

An einem zweiten Entladungsrohr wurden die Übergänge von einer gewöhnlichen Entladung mit Scheibenkathode in eine mit Hohlkathode beobachtet und untersucht. Hier wurden die Messungen größtenteils in Stickstoff gemacht. Tabelle 6 zeigt die Stromverteilung bei konstant gehaltenem Gesamtstrom und verschiedenen Drucken. Doch ist dabei zu berücksichtigen,daß die Gesamtstromdichte kleiner wurde,da die Oberfläche vergrößert wurde. Der Punkt 0,0 bedeutet die Entladung mit Scheibenelektrode,der Abstand bezeichnet die Entfernung des Bodens von der Stirnfläche, wo bei 0,7 cm gerade eine Ringdicke war. Die Brennspannung E ist in Volt angegeben,der Strom durch die einzelnen Teile und der Gesamtstrom in Milli-Ampères.

Besonders bemerkenswert war der Wechsel zwischen den Stromdichten bei Hereindrehen des Bodens um einen Ring. Die Stromdichten standen in keinem Verhältnis zur Oberfläche,die verdoppelt wurde,denn zur Stirnfläche kam die innere Ringoberfläche hinzu. Nach weiterem Vergrößern der Hohlkathodenfläche war der

Zusammenstellung

Konstanter Druck und veränderlich. Abstand

Spg.	Ges-Str.	Aussen	Mitte	Innen	Abstd.	
845 V	20,0 m-A	6,8	6,9	6,2	5,0 cm	
705	-	6,8	6,7	6,4	3,0	
600	-	6,7	6,5	6,7	2,0	
405	-	6,2	6,3	7,5	1,0	0,4 mm N_2
395	-	5,2	5,9	9,0	0,7	
695	-	11,2	6,6	2,0	0,5	
1045	-	11,1	6,9	1,8	0,3	
370 V	8,0	2,4	2,8	2,7	4,0 cm	
370	-	2,4	2,8	2,7	3,0	
370	-	2,4	2,8	2,7	2,0	
360	-	2,4	2,9	2,7	1,5	1,0 mm N_2
310	-	2,3	2,9	2,7	1,0	
300	-	2,1	2,9	3,0	0,8	
310	-	2,7	2,5	2,7	0,6	
320	-	2,9	2,4	2,6	0,4	

Konstanter Abstand und veränderlich. Druck in Stickstoff

Spg.	Ges-Str.	Aussen	Mitte	Innen	Druck	
390 V	9,5 m-A	3,0	3,2	3,1	1,8 mm	
360	9,5	2,5	3,1	3,9	1,2	
340	9,6	2,2	2,9	4,5	0,6	1,0 cm Abstd
345	9,6	2,3	2,8	4,5	0,45	
345	9,9	1,8	2,7	5,5	0,3	
540	6,7	2,8	2,1	1,6	0,25	
630	2,6	0,4	1,3	0,9	0,18	
410 V	26,0 m-A	8,6	8,6	8,6	1,8 mm	
410	26,0	7,7	8,7	9,7	0,8	
390	26,0	7,2	8,4	10,2	0,5	
835	17,4	7,4	7,2	2,9	0,2	

Verteilung bei Gesamtstromerhöhung für 0,6 N_2

Spg.	Ges-Str.	Aussen	Mitte	Innen	
340 V	11,0 m-A	3,0	3,0	5,1	
350	16,0	4,7	4,6	6,4	1,0 cm Abstd.
360	20,5	6,2	6,0	8,2	
395	35,0	10,0	11,0	13,8	
465	63,5	18,9	20,0	24,4	
525	108,0	31,8	35,0	41,0	
Spg.	Ges-Str.	Aussen	Mitte	Innen	
600 V	11,0 m-A	3,8	3,7	3,7	
665	16,0	5,2	5,3	5,2	4,0 cm Abstd.
720	20,0	6,8	6,5	6,7	
840	35,0	11,9	11,6	11,8	

Tabelle 6

E	1.Rg	2.Rg	3.Rg	4.Rg.	5.Rg	6.Rg	7.Rg	Bod.	Ges.Str.	Ab.
							Stickstoff 0,1 mm Drck.			
405 V	2,0	1,4	1,6	1,5	1,5	0,8	0,6	0,3	10,0 m-A	4,9 cm
410	2,4	1,6	1,9	1,8	1,1	0,3	-	0,5	-	4,2
425	3,0	2,0	2,0	1,5	0,5	-	-	0,6	-	3,5
950	7,0	1,5	0,6	0,3	-	-	-	0,3	-	2,8
1380	7,2	1,4	0,5	-	-	-	-	0,6	-	2,1
1680	6,9	1,4	-	-	-	-	-	1,5	-	1,4
2250	5,8	-	-	-	-	-	-	4,2	-	0,7
2500	1,0	-	-	-	-	-	-	9,0	-	0,0
							Stickstoff 1,0 mm Drck.			
335	2,8	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	10,0	4,9
335	2,9	1,2	1,2	1,2	1,2	1,0	-	1,3	"	4,2
335	3,2	1,3	1,3	1,4	1,4	-	-	1,4	"	3,5
335	3,6	1,6	1,6	1,5	-	-	-	1,7	"	2,8
345	4,2	1,9	1,8	-	-	-	-	2,0	"	2,1
355	5,1	2,2	-	-	-	-	-	2,5	"	1,4
360	6,5	-	-	-	-	-	-	3,5	"	0,7
375	4,9	-	-	-	-	-	-	5,0	"	0,0
							Stickstoff 0,05 mm Drck.			
1485	6,5	1,6	0,8	0,4	0,2	0,1	0,1	-	10,0	4,9
1700	6,0	1,9	0,9	0,5	0,2	0,1	-	0,1	"	4,2
1880	6,0	2,1	1,0	0,5	0,2	-	-	0,2	"	3,5
2010	5,5	2,3	1,1	0,6	-	-	-	0,4	"	2,8
2235	5,5	2,6	1,1	-	-	-	-	0,7	"	2,1
2480	5,5	2,9	-	-	-	-	-	1,4	"	1,4
-	5,0	-	-	-	-	-	-	4,8	"	0,7
-	0,5	-	-	-	-	-	-	9,5	"	0,0

Tabelle 7

Spg.	3mm Luft Ges-Str.	1. Rg.	2.Rg.	3.Rg.	ganze Bedeckung Boden	Abstd.
465V	19,4 m-A	9,6	-	-	9,7m-A	o,0
465	19,4	12,0	-	-	7,2	0,1
465	19,4	13,1	-	-	6,2	0,35
465	19,4	16,6	-	-	2,7	0,7
465	19,4	18,9	0,4	-	-	1,05 cm
					halbe Bedeckung	
465	11,0	5,4	-	-	5,4	0,0
465	11,0	7,0	-	-	4,0	0,1
465	11,0	7,0	-	-	4,0	0,35
465	11,0	8,5	-	-	2,4	0,7
465	11,0	9,0	2,0	-	-	1,4

Verlauf in den einzelnen Druckgebieten verschieden. Bei 1 mm Druck änderte sich die Stromdichte in allen Teilen gleichförmig. Je größer die Fläche, desto geringer war der Strom, der durch die

einzelnen Teile abfloß. Es stellte sich allmählich eine gleichmäßige Verteilung der Stromdichte auf die zur Verfügung stehende Entladungsfläche ein. Bei noch höheren Drucken wurde nicht mehr die gesamte Oberfläche eingenommen,sondern nur die der vordersten Ringe. Die Entladung zog sich vom Boden auf die Wandung des Hohlzylinders zurück. Die Stromdichte des ersten Ringes nahm zu,die des Bodens sank auf Null ab. Siehe den Verlauf der Stromverteilung während der Entwicklung der Hohlkathode bei ganzer und halber Stirnflächendeckung in Tabelle 7.

Für die halbe Bedeckung war der Verlauf besonders ausgeprägt. Erst für genügend große Hohlkathode klappte die Entladung von der Mitte des Bodens auf die Wand um,sonst änderte sich die Gesamtstromdichte nicht,d.h. das Glimmlicht verschob sich nur unter Bevorzugung der vordersten Teile.

Bei niedrigeren Drucken als 1 mm ist der Verlauf der Stromdichteverteilung bei Bildung der Hohlkathode ebenfalls aus Tabelle 6 zu entnehmen. Dort hatte man für geringere Abstände des Bodens von der Stirnfläche zuerst ein starkes Überwiegen der Stromaufnahme durch den vordersten Ring(Abstände 1,4 cm, 2,1 cm, 2,8 cm), während die Spannung gleichzeitig abnahm. Es war eine ähnliche Erscheinung wie beim Nähern von zwei parallel geschalteten Kathoden. Bis zum Abstand 2,8 cm fand man dieselbe Lichterscheinung an der Kathode,die schon früher durch Vereinigung der Dunkelräume charakterisiert worden war. Bei Abstand 3,5 cm riß die Entladung auseinander und man konnte wieder Glimmlicht und Dunkelräume unterscheiden. Gleichzeitig wurde die Stromverteilung gleichmäßiger,um dann nach noch weiteren Vergrößern der Hohlkathode besonders im Boden bis auf Null abzunehmen. Tabelle 6 zeigt ferner einen Verlauf für 0,05 mm Druck,für den wieder die

starke Beteiligung des vordersten Ringes klar hervortritt. Im Gegensatz zu 1 mm Druck setzte hier eine Stromdichtezunahme des vordersten Teils ein, je weiter die Hohlkathode ausgebildet wurde. Die hinteren Ringe und der Boden blieben fast stromfrei.

Die folgende Tabelle 8 stellt den Übergang von normaler Bedeckung zu anormaler bei schon bestehender Hohlkathode für 2 mm dar. Der Boden war 2,8 vm von der Vorderfläche entfernt. Sowie

Tabelle 8

Spg.	1.Rg.	2.Rg.	3.Rg.	4.Rg.	Boden	Ges-Str.	
430V	5,0	-	-	-	-	5,0	m-A
430	7,0	0,5	-	-	-	7,5	
430	8,5	1,3	-	-	-	10,0	
430	8,6	3,2	0,6	-	-	12,5	
430	8,9	3,8	1,8	0,4	-	15,0	
430	7,0	3,2	3,2	3,3	3,4	20,0	
440	10,0	4,4	4,4	5,5	5,6	30,0	anorml.
460	16,1	7,7	7,8	9,0	9,1	50,0	

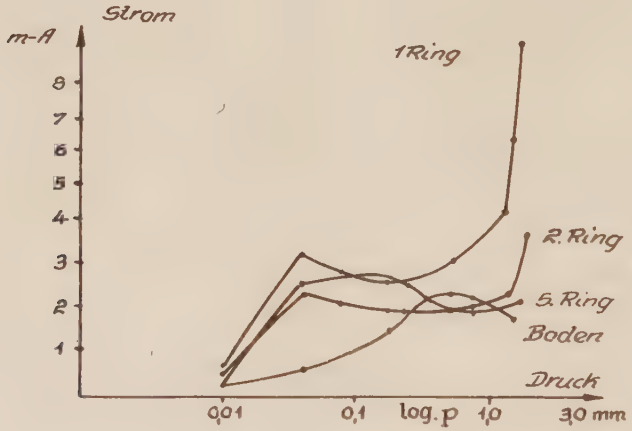
das Glimmlicht den Boden bedeckte, verteilte sich der Strom auf alle Teile gleichmäßig, während bis dahin hauptsächlich der erste Ring die größte Entladungsstromdichte hatte.

Man erkennt aus den angegebenen Messungen, daß schon kleine Unebenheiten oder Vertiefungen auf der Kathode beträchtliche Verschiebungen in den Stromdichten der einzelnen Teile hervorrufen können, während der Gesamtstrom konstant bleibt, wenn die Dunkelräume und Glimmlichter klein genug gegen den Abstand der Flächen voneinander sind.

Für höhere Drucke bewirkte der Boden eine möglichst gleichmäßige Verteilung der Stromdichte, sobald die Stromstärke ausreichte, die ganze zur Verfügung stehende Fläche der Hohlkathode auszunutzen. Für geringe Drucke aber waren der Boden und die hinteren Teile von keiner großen Bedeutung mehr für die Entladung. Der vorderste Ring der Hohlkathode entsprach dann dem äußersten

Teil in der Anordnung der sich gegenüberstehenden Kathoden, der Boden dem innersten Teil. Wesentlich für die Verlagerung der Einzelstromdichten waren auch hier wieder die sich gegenseitig durchdringenden Dunkelräume, die allein vom Gasdruck und Durchmesser der Hohlkathode abhingen.

Das Verhalten der Stromverteilungsfunktion wurde nun noch bei bestehender Hohlkathode und veränderlichem Druck untersucht. Das Ergebnis der Messung für den 1., 2., 5. Ring und den Boden zeigt Fig. 11, bei der der Abstand des Bodens von der Stirnfläche 4,9 cm betrug.



Figur 11

Der Druck in Stickstoff wurde wegen besserer Maßstabsverhältnisse logarithmisch aufgetragen. Eine Vergleichsmessung mit Abstand 0,0, das heißt bei einer Entladung mit Scheibenkathode, ergab, daß die Stromdichte von außen nach innen bei sinkendem Druck wie bei der gewöhnlichen Entladungsform abnahm

In der Hohlkathode trug für höhere Drucke der 1. Ring

den überwiegenden Anteil der Stromaufnahme,es bestand der normale Fall der Entladung. Erst mit niedrigen Drucken griff die Lichterscheinung auf die weiter hinten liegenden Teile über. Wenn an den Wandungen die Stromaufnahme fiel,stieg sie in der Bodenfläche und den ihr anliegenden Ringen. Der Boden übte auch hier wieder in dem Druckgebiet 1,0 bis 0,5 mm eine ausgleichende Wirkung aus. Beim ersten Ring ist zu beachten,daß er die doppelte Entladungsoberfläche hatte. Von 0,5 mm ab ging die Wirkung des Bodens und auch des ihm anliegenden 7. Ringes,der nicht gezeichnet worden ist,stark zurück.

Besonders auffallend war das Verhalten des 5. Ringes,der, sobald der Boden anfing,in seiner Beteiligung zurückzugehen,die größte Stromdichte hatte,um dann bei noch geringerem Druck im Gegensatz zu den beiden vorderen Ringen wieder eine Abnahme der Stromdichte zu zeigen. Dieser 5. Ring übernahm bei 0,1 mm Druck die ausgleichende Wirkung des Bodens bis etwa 0,05 mm,dann erfolgte die plötzliche Vereinigung der einander gegenüberliegenden Dunkelräume und es bildete sich ein feiner Kathodenstrahlartiger Faden,der genau aus der Mitte des Hohlzylinders kam. Der Stromanteil des Bodens und der dicht davor liegenden Teile des Zylinders verschwand fast völlig. Aus den Messungen kann entnommen werden, daß der Boden bei einem Hohlzylinder nur bei höheren Drucken für die Entladung von gewisser Bedeutung ist,dagegen für geringere Drucke ziemlich unwesentlich ist. Bei großem Abstand (im angegebenen Beispiel 4,9-6,3 cm,siehe auch Tab.6) von der Stirnfläche gingen kaum nennenswerte Ströme durch die hinteren Teile.

Außer der Abhängigkeit der Stromdichteverteilung von verschiedenen Parametern wurde noch die Dunkelraumlänge als

Funktion des Kathodenabstandes für die Entladungsform I näher untersucht. Entsprechend der Stromdichteverteilung änderten sich die Dunkelräume proportional, d.h. sie wurden kleiner,so daß sich hier keine Anomalien ergaben. Ebenso paßte sich die Form der unterschiedlichen Stromdichte an. Die Durchdringung der Dunkelräume setzte zuerst an den äußersten Teilen ein. Die Lichterscheinung klappte dann in der schon früher beschriebenen Art von innen nach außen um,und es war dann kein Dunkelraum mehr zu unterscheiden. Für kleinere Abstände also kleinere Krümmungsradien und höhere Kathodenfälle galt die Astonsche Beziehung $d = a/p + b/j$ wobei d die Länge des Dunkelraumes in cm,p Druck in mm, j Stromdichte in Milli-Ampères pro cm^2, a und b Konstante bedeuten,ganz gut (1).

Für verschiedene Drucke sind in Tabelle 9 die Dunkelräume in Abhängigkeit vom gegenseitigen Abstand zusammengestellt. Die Dichten wurden jeweils in der Mitte der Kathode mit dem Kathetometer vom Glimmlichtrand bis zur Kathodenoberfläche gemessen.

Tabelle 9

Spr.	Ges-Str.	Innen	Dunkelraum	Abstd.	Druck
405V	34,0 m-A	11,1	1,9mm	4,0cm	2 mm
420	35,0	11,5	1,7	1,0	Stick-
405	36,0	9,0	1,5	0,5	stoff
580V	29,0 m-A	9,4	2,6mm	4,0cm	0,7 mm
510	30,0	11,0	2,3	2,0	
435	32,0	12,0	2,1	1,0	
390	34,0	14,0	1,7	0,5	
570V	2,4 m-A	0,9	11,7mm	5,0cm	0,15 mm
510	3,9	1,3	7,3	3,0	
465	5,0	1,8	6,3	2,0	

(1) F.W. Aston. Proc.Roy.Soc. London Bd.79 (1907) S. 81
und Bd.87 (1912) S. 428/437

Deutung der Ergebnisse.

Die Ergebnisse der Untersuchung sind in zwei Richtungen bemerkenswert. Einmal in der starken Inhomogenität der Oberflächenstromdichte, wenn auch an sich zu erwarten war, daß bei ziemlich großflächigen Kathoden gerade an Hohlkathodenanordnungen gewisse Randwirkungen auftreten würden. Zum anderen in der Übereinstimmung der Erscheinungen an parallelgeschalteten sich gegenüberstehenden Kathoden und an eigentlichen Hohlkathoden, wo der Boden eine Verbindung der Wände herstellt. Das Wesentliche scheinen demnach nur die gegenüberliegenden Flächen zu sein, die das Charakteristische der Hohlkathode ausmachen.

Obgleich die Gesamtstromdichte über größere Druckbereiche unter bestimmten Bedingungen verhältnismäßig konstant bleibt (1), zeigt es sich, daß hier die Oberflächenstromdichte trotz Schutzringes besonders inhomogen ist. Zuerst nimmt die Konzentration von innen nach außen ab, so daß ein starkes Gefälle entsteht, dann ändert sich die Verteilung sprunghaft und man hat ein Konzentrationsgefälle in umgekehrter Richtung. Weiter ist eine gegenseitige "Behinderung" der Kathoden für die Entladung eher günstig als hindernd. Die eigentliche Behinderung setzt dann erst bei noch kleineren Abständen ein und gibt zu einer vollkommenen Verschiebung der Stromdichten anlaß. Diese Behinderung kann unter Umständen so stark sein, daß bei der Hohlkathode Erscheinungen auftreten, die in der gewöhnlichen Entladung sonst unter viel ungünstigeren Bedingungen stattfinden.

Zur Erklärung der Vorgänge bei der Hohlkathode sind verschiedene Wege eingeschlagen worden. Einerseits wird in dem Hin-

(1) A. Güntherschulze. Zft.f.tech.Phys.Bd.11(1930) S. 49.

und Herpendeln der Elektronen zwischen den Kathoden und in der Bildung von Sekundärelektronen eine Vergrößerung der Ionisierungswahrscheinlichkeit gesehen(1). Mittels dieser Annahme läßt sich die Tatsache einer Stromerhöhung leicht erklären,weiterhin im Zusammenhang damit auch die Spannungserniedrigung. Ein Elektron,das aus der Kathodenoberfläche heraustritt,bildet Ionen im Fallraum, die beim Auftreffen auf die Kathode wieder neue Elektronen schaffen. Bei der Hohlkathode liegt es nun besonders günstig,da die heraustretenden Elektronen mehrmals hin und her pendeln,und die Ionisierungsausbeute daher viel größer wird als bei der gewöhnlichen Entladung. Da die Ausbeute aber auch von der Feldstärke des Kathodenfalls bahängt,ist hier ein geringeres Potential erforderlich,um die Entladung aufrecht zu erhalten. Für dieses Gebiet des Hin- und Herpendeln gibt es ein Optimum. Bei zu großem Abstand der Kathoden kommt die Hohlkathodenwirkung kaum zur Geltung,weil das gegenüberliegende Feld zu schwach ist. Für zu kleine Abstände bedarf es verhältnismäßig großer,Feldkräfte,um die aus der Kathode befreiten Elektronen überhaupt an dem Entladungsvorgang zu beteiligen,auch gelingt es den Ionen nicht,genügend Elektronen aus den Kathodenoberflächen herauszuschlagen,da der Zwischenraum zu klein ist. Die Entladung wird disruptiv,denn die wenigen Ionen,die in den Spalt gelangen,reichen nicht aus,um eine stationäre Entaldung hervorzurufen. Eine Stütze erhält diese Annahme dadurch,daß bei kleineren Abständen der beiden Kathoden der äußere Teil den größten Entaldungsstrom zeigt,da hier die Bedingungen des Elektronenaustrittes noch am günstigsten liegen.

Andererseits wird die Ursache der Spannungserniedrung weniger in dem Hin- und Herpendeln der Elektronen als wie in dem

(1) Engel-Steenbeck. Bd II (1934) S. 114

systematischen Abbau des Plasmapotentials gesehen. Diese Annahme wird in erster Linie dadurch belegt,daß der Einfluß einer genäherten Anode oder isolierten Scheibe von ähnlicher Wirkung ist wie der einer parallelgeschalteten Kathode. (1)

Bei der ersten Erklärung wird die Diffusion gänzlich vernachlässigt,bei der zweiten Annahme soweit berücksichtigt,daß den bisherigen Anschauungen der Gasentladungstheorie insbesondere der von Rogowski weiter entwickelten Townsend'schen Theorie im Falle der Hohlkathodenwirkung keine volle Berechtigung mehr zukommt. (2) Abgesehen von der Längsdiffusion spielt nun hier auch eine sogenannte Querdiffusion eine wesentliche Rolle,durch die die Inhomogenität der einzelnen Kathodenteile hauptsächlich bedingt wird. Mit der Erwärmung der Kathoden können meines Erachtens die vorher beschriebenen Erscheinungen des starken Konzentrationsgefälles nicht allein erklärt werden,denn Versuche haben ergeben,daß bei gegenseitiger Annäherung sofort nach Ausbildung der Entladung dieselben Effekte auftraten. Da immerhin verhältnismäßig große Elektroden verwandt wurden,sollten sich diese noch nicht nennenswert erwärmt haben. Der ganze Vorgang der Annäherung dauerte in diesem Fall etwa zwei Sekunden. Außerdem ist damit allein auch die plötzliche Richtungsänderung des Gefälles nicht ohne weiteres zu erklären.

Die Deutung für diese Inhomogenität könnte vielleicht vielmehr in der Deformation des Feldes vor den Kathoden liegen. Es ist schon gezeigt worden,daß die Äquipotentialflächen sich ziemlich schlecht der Kathodenoberfläche anpassen (3). Wenn jetzt eine Gegenelektrode wirksam wird,dann gleichen sich diese Flächen

---

(1) K. Geiger. a.a.O.

(2) Rogowski. Arch.f.Elektrotechnik B.25 (1931) S. 511.
(3) A. Wehnelt. Ann. d. Phys. Bd. 10 (1903) S. 542.

mehr und mehr bei gegenseitiger Annäherung den Oberflächen an, sie werden sogar konkav gekrümmt sein und sich in der Mitte sehr stark zusammendrängen,so daß sich hier ein größeres Potentialgefälle bildet als am Rande,aus dem sich die Verschiedenheit der Oberflächenstromdichte ergibt. Wenn jetzt der Zwischenraum noch kleiner wird,dann gelingt es nur vereinzelten Ionen, genügend Elektronen zu befreien,und diese wenigen Ionen bedürfen eines erhöhten Kathodenfalls,um überhaupt die Entladung aufrecht zu halten. Diese Ionen treffen besonders die äußeren Teile,die nun den stärkeren Strom anzeigen und dadurch ein Konzentrationsgefälle nach der anderen Richtung hervorrufen. Um gleichzeitig den Verlust durch die nach innen abdiffundierenden und nur wenig an der Ionisierung teilnehmenden Elektronen zu ersetzen,muß die Wirksamkeit der die Entaldung aufrechterhaltenden Elektronen gesteigert werden,was durch Vergrößerung der Geschwindigkeit mittels Spannungserhöhung geschieht,solange es die äußeren Daten des Stromkreises zulassen. Diese Annahme hat zur Voraussetzung, daß vor der Kathode der negative Stromanteil am größten ist oder wenigstens den positiven überwiegt. Für die vollkommene Hohlkathode liegt es ähnlich. Unter bestimmten Umständen und Bedingungen treten der Boden und die hinteren Partien am Aufbau der Entladung zurück. Auch hier tritt bei Vereinigung der Dunkelräume der sich gegenüberliegenden Teile eine Spannungserhöhung auf. Die Hohlkathode wirkt nicht mehr mit der ganzen ihr zur Verfügung stehenden Fläche,sondern nur mit der der vorderen Öffnung entsprechenden. Auch hier werden nur die vordersten Teile von den Ionen getroffen und die Verluste der nach hinten gelangenden zum Teil unwirksam werdenden Elektronen müssen durch Spannungserhöhung

ersetzt werden. Erst bei Gesamtstromerhöhung werden für beide Entladungsformen wieder solche Bedingungen geschaffen, die die ganze Oberfläche an der Entaldung beteiligen und daher ausreichend Elektronen bilden, so daß wieder zwei getrennte Glimmlichter entstehen. Gleichzeitig haben wir neben diesen Diffusionseffekten besonders günstige Bedingungen für die Wiedervereinigung zwischen Elektronen und positiven Ionen, auch diese Verluste müssen durch erhöhte Wirksamkeit der übrigen Ionen und Elektronen ausgeglichen werden.

Die elektrisch ungleichmäßige Kathodenoberfläche muß also bei Aussagen über Hohlkathodenwirkungen stark berücksichtigt werden und die Wirkungen der Diffusion insbesondere der Querdiffusion dürfen keineswegs vernachlässigt werden. Die bisher entwickelten Theorien für gewöhnliche Gasentladungen scheinen daher für solche Anordnungen nur in sehr beschränktem Umfange gültig zu sein.

Zusammenfassung.

Vorliegende Arbeit stellt einen Versuch dar, die Oberflächenstromdichte an Hohlkathodenanordnungen mittels unterteilter Eisenkathoden zu untersuchen. Festgestellt wurde für sich gegenüberstehende parallelgeschaltete Kathoden eine beträchtliche Inhomogenität der Oberfläche in elektrischer Beziehung für Luft und Stickstoff, die stark vom Gasdruck, vom gegenseitigen Abstand der Kathoden und von der Gesamtstromstärke abhängt.

An einer zweiten Anordnung wurde ebenfalls mittels Unterteilung die Wirksamkeit der einzelnen Teile einer eigentlichen

Hohlkathode untersucht.

Festgestellt wurde,daß der Boden nur bei höheren Drucken von gewisser Bedeutung ist,während sonst die Anteilnahme der hinteren Partien entsprechend den inneren Partien der ersten Anordnung an der Entladung gering ist.

Es wird ein möglicher Erklärungsversuch gegeben für das unterschiedliche Verhalten der einzelnen Teile und auf das Konzentrationsgefälle und die sich daraus ergebenden Diffusionserscheinungen insbesondere bei Hohlkathouenanordnungen hingewiesen.

Zum Schluß der Ausführungen möchte ich nicht verfehlen, meinem verehrten Lehrer,Herrn Professor Dr. A. Wehnelt meinen Dank für die Anregung zu der vorliegenden Arbeit und für die stete Anteilnahme am Fortgang der Arbeit auszusprechen. Desgleichen bin ich Herrn Dr. W. Holtz für sein förderndes und hilfsbereites Interesse zu Dank verbunden.

Lebenslauf.

Am 13. November 1913 wurde ich, Herbert Scholz, als Sohn des Reichsbahnoberinspektor Paul Scholz und seiner Ehefrau Martha, geb. Schröder, in Berlin-Steglitz geboren. Nach dem Besuch der Volksschule in Steglitz trat ich im Jahre 1923 in das Realgymnasium zu Lankwitz ein, wo ich 1932 die Reifeprüfung bestand. Ostern 1932 ließ ich mich an der Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin immatrikulieren und hörte dort Vorlesungen und Übungen über Physik, Chemie und Mathematik bei den Herren Professoren und Dozenten Nernst, Wehnelt, Czerny, Henning, Orthmann, Möglich, Wendelin, Schlenk, E. Schmidt, Bieberbach, Klose, Feigl, Hofmann.

Vorliegende Arbeit wurde im 1. Physikalischen Institut der Universität Berlin nach Anregung durch Herrn Professor Dr. A. Wehnelt im Jahre 1936 begonnen. Seit Beendigung des experimentellen Teils bin ich bei einer Großfirma beschäftigt gewesen.

Herstellung: V D I - V e r l a g GmbH, Berlin NW 7